

低品質碎石骨材の利用開発に関する研究

甲本 達也・加来 研

(生産環境工学講座)

平成4年5月31日 受理

Study of Use and Development of Low Quality
Crushed Stone Aggregates for Concrete

Tatsuya KOUMOTO and Ken KAKU

(Laboratory of Construction Engineering)

Received May 31, 1992

Summary

With the shortage of natural resources and with the regulation by the protection of environment, crushed stones have recently become to be used as the aggregate materials for concrete in Japan. However, in the case that low quality crushed stones were used, some troubles have also arisen such as cracking in concrete by an alkali-aggregate reaction. During over ten years since an alkali-aggregate reaction was pointed out, the mechanism of the reaction has considerably been clarified. It is in the future strongly hoped to develop the method of effective use of crushed stones by overcoming the troubles.

This paper describes researches on the actual condition of the use of crushed stones in northern Kyushu and both on the physical and chemical characteristics of crushed stones and on the physical and mechanical characteristics of mortars and concretes in which the crushed stone were used as aggregate materials.

Key words: alkali-aggregate reaction, concrete, crushed stone, mortar.

1. は じ め に

わが国のコンクリート用骨材は、環境保護等による採取規制と骨材資源の枯渇により、碎石に依存するケースが増えてきている。しかし、一方で低品質の碎石を使用したためにアルカリ骨材反応によるひびわれのトラブルを生じるようになってきている。アルカリ骨材反応の問題が指摘されだして以来10数年、そのメカニズムもかなり明らかになってきている。今後、その欠点を克服した低品質碎石骨材の利用の仕方が大いに望まれる。本研究は、このような低品質碎石骨材の利用開発を目的として、(1)北九州地方(福岡、大分、佐賀、長崎の4県)における碎石利用の実態を調べるとともに、(2)各県当たり1碎石の計4碎石試料について、その物理的・化学的特性およびこれらを骨材としたモルタルやコンクリートの物理的・力学的特性について実験的に調べたものである。

2. 北九州地方における砕石利用の実態

Table 1 は北九州地方における砕石業の現況を、(1)製品別生産量と(2)砕石採掘許可量と主な岩の種類のそれぞれについてまとめたものである。Table 1(1)によれば、総採石生産量は福岡県が一番多く、残り3県はほぼ同じであること、各県とも全砕石生産量の約30%—50%をコンクリート用として生産していること、

等が分かる。Table 1(2)によれば、各県で採掘が許可されている砕石の主な岩種のうち、アルカリ骨材反応物質を含むとされる安山岩の全採掘許可量に対する割合が大きい(特に大分県と長崎県が顕著である)こと、量的には玄武岩が安山岩に次いで多いこと等が分かる。日本コンクリート工学協会によるアルカリ骨材反応調査研究委員会報告書¹⁾の、アルカリ骨材反応の疑いのあるサンプル収集分布図(顕微鏡を中心とした判定

Table 1 Present condition of stone-quarrying industry in Northern Kyushu (from each prefectural survey)

(1) Output of crushed stones in 1986 ($\times 1,000$ ton)

Items	Prefecture			
	Fukuoka	Oita	Saga	Nagasaki
Road use	5,409	2,615	2,114	2,693
Concrete use	5,637	1,878	1,668	3,713
Railway use	154	35	25	31
Sand	595	227	375	153
Others	2,525	307	1,779	541
Total	14,320	5,061	5,960	7,131

(2) Permitted amount for stone-quarring and main sorts of rocks

Prefecture	Number of makers concerned	Number of permitted quarry	Permitted amount $\times 1,000$ ton /year	Main sorts of rocks (% to permitted amount)	Remarks
Fukuoka	66	75	31,587	Andesite (26%), Crystalline schist (24%), Sandstone (11%), Others (15 sorts)	September 1987
Oita	24	28	8,523	Andesite (80%), Sandstone (16%), Slate (4%)	February 1988
Saga	21	28	10,134	Basalt (58%), Andesite (27%), Crystalline schist (7%), Others (2 sorts)	October 1987
Nagasaki	40	45	3,786	Andesite (82%), Basalt (18%)	June 1985

Table 2 Physical properties of crushed stone aggregates

Sample	Sorts of rocks (Prefecture)	Specific gravity	Absorption (%)	Unit weight (kg/l)	Percentage of absolute volume (%)	Fine Modulus (F.M.)	
						Fine aggregate	Coarse aggregate
A/F	Andesite (Fukuoka)	2.735	0.53	1.753	64.4	4.52	7.85
S/O	Sandstone (Oita)	2.650	0.82	1.654	62.9	4.10	7.63
A/S	Andesite (Saga)	2.612	1.89	1.658	64.6	3.77	7.88
B/N	Basalt (Nagasaki)	2.584	1.94	1.578	62.3	4.21	7.47

に基ずく)によれば、これまでに北九州地方では長崎県においてのみ粗骨材岩種として単斜輝石および安山岩に、細骨材岩種として安山岩片、石英および貝殻にアルカリ骨材反応を示すサンプルが得られている。したがって、上述のごとく碎石の主な岩種が安山岩である長崎県では今後、碎石骨材のアルカリ骨材反応に関するデータを集積する必要がある。

3. 碎石のアルカリ骨材反応試験例

碎石のアルカリ骨材反応試験を(1)モルタルバー法と、(2)化学法の両方法により行った。

(1) モルタルバー法

モルタルバー法では各県より1碎石の計4碎石試料(福岡県産と佐賀県産：安山岩、大分県産：砂岩、長崎県産：玄武岩)について試験を行った。これら4碎石試料の骨材試験結果をTable 2に示す。Table 2によれば、ここで取り上げた碎石試料の場合、比重は福岡県産→大分県産→佐賀県産→長崎県産の順に小さく、吸水率は福岡県産→大分県産→佐賀県産→長崎県産の順に大きい。物理的に見た場合、比重は大きい程、また吸水率は小さい程骨材資源としては優良であると考えらるならば、碎石の骨材資源としてはこの場合、福岡県産→大分県産→佐賀県産→長崎県産の順で品質的に低かったことが伺える。

モルタルバーの作成に当たっては、これらの碎石が粗骨材であったので、あらかじめ洗浄した後、クラッシャーで粉碎したものを細骨材として使用した。このときの(a)細骨材、(b)粗骨材および(c)クラッシャーランの粒度分布はFig. 1に示すようであった。セメントは普通ポルトランドセメントを用いた。モルタルバーの作り方および測定までの要点は以下のごとくである。

- ①供試体の数：1試料当たり3本とし、1バッチから3本を作成した。
- ②モルタルの配合：モルタルの配合は重量比でセメント1、水0.5、砂(表乾)2.25とした。1回に練り混ぜるセメント、砂、水の量は

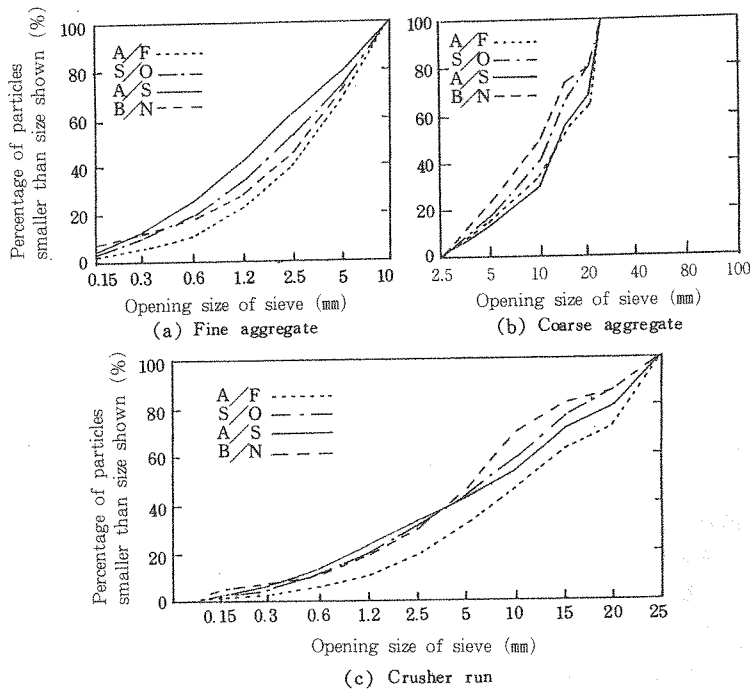


Fig. 1 Sieve analysis curves of crushed stone aggregates

水+NaOH 水溶液 : 300ml
 セメント : 600 g
 砂 (表乾) : 1,350 g

③成形：モルタルは練り混ぜた後直ちに型枠に詰めて成形した。型枠は JIS 規格の40×40×160mm型枠を使用した。

④初期養生および脱型：打設後、型枠ごと濡れ布で覆って約24時間初期養生した後、脱型した。脱型後、直ちに基長を測定した。

⑤貯蔵および測定：供試体の貯蔵は温度 $40 \pm 2^\circ\text{C}$ 、相対湿度約95%に保持できる容器内に貯蔵した。測定はダイヤルゲージ法により、1/1,000mmの目盛まで読んだ。

供試体の最初の長さ、各測定材令における長さとの差を有効ゲージ長さで除し、0.001%まで計算し、その材令における供試体の長さ変化率とした。

Fig. 2 はモルタルバー法によるアルカリ骨材反応試験結果の例を碎石の産地別に示したものである(それぞれ3個のデータの平均値を示している)。Fig. 2 によれば、一般にモルタルバーの長さ変化率～材令関係は脱枠後、材令1週まではマイナス方向に増大し(つまり、収縮量が増大)、その後はばらつきながらも次第に元に戻る(つまり、膨張量がが増大)傾向が見られ、試料によっては膨張量がプラスに転ずるものもある。4 碎石試料の中では長崎県産のものが最も収縮量が少なく、また材令6週にしてプラスの長さ変化率を示している。また、他の3 碎石試料では、材令8週までに長さ変化率がプラスに転じたものはないが、佐賀県産のものは10週までに膨張量がプラスに転じている。大分県産のものは12週にして元の状態(長さ変化率が0)に戻っている。福岡県産のものは、材令12週(3カ月)までは長さ変化率にあまり変化がなく依然マイナスのままであった。

モルタルバー法によるアルカリ骨材反応の判定は材令3カ月、6カ月の測定値で行うことになっている。いま、材令3カ月目である現段階で一応の判定を下してみると、ここで取り上げた4 碎石試料に限って言えば、福岡県産のものは特に問題はないが、長崎県産および佐賀県産のものは注意を要する碎石であるといえよう。大分県産のものはこのまま長さ変化率に変化が生じなければ問題はないと思われる。

(2) 化学法

化学法では、上述のモルタルバー法による試験の途中(材令6週まで)結果を考慮し、アルカリ骨材反応を起こし難いと思われる碎石の代表として大分県産のものとおよびアルカリ骨材反応が問題となりそうな碎石としての長崎県産

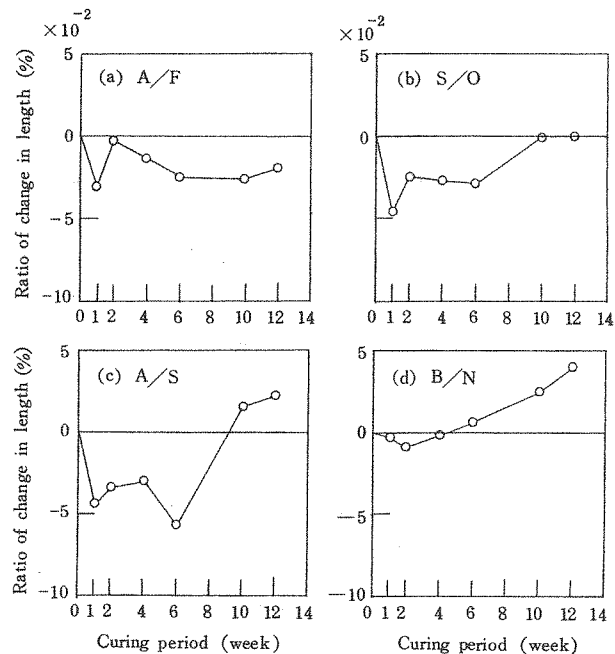


Fig. 2 Results of Alkali-aggregate reaction tests by mortar bar method

Table 3 Results of alkali-silica reaction test
(by Kyushu Environment Control Society)

Sorts of rocks (Prefecture)	Sandstone (Oita)				Basalt (Nagasaki)			
	1	1	3	Average	1	1	3	Average
Soluted Silica. Sc (m mol/l)	47	47	47	47	359	366	363	363
Reduction of Alkali concentration. Rc (m mol/l)	80	79	79	79	196	196	196	196
Judgement	harmless				not harmless			

のものの2砕石試料について試験を、財団法人九州環境管理協会に委託した。

九州環境管理協会により得られた、化学法によるアルカリシリカ反応性試験結果をTable 3に示すと同時に、測定された溶解シリカ量とアルカリ濃度減少量との関係をFig. 3(骨材の有害度の判定図)上にプロットした。Fig. 3によれば、大分県産のものは無害領域に、また長崎県産のものは潜在的有害領域にプロットされていることが分かる。ここにおいて、モルタルバー法、化学法さらには骨材試験結果の比重や吸水率の大きさ等からの砕石骨材品質の予測結果がほぼ一致したことは大変興味深い。

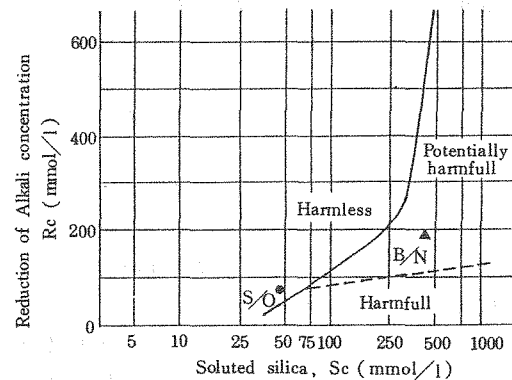


Fig. 3 Chart for judgement of harmfulness of aggregates

4. 砕石を用いたコンクリートの強度特性

上述のごとく、砕石骨材の品質は物理的・化学的に判定出来ることが分かった。そこで、さらにこのような砕石を骨材としたコンクリートの強度特性を求めてみた。

供試体コンクリートの配合をTable 4に示す。供試体コンクリートの作成に際しては水セメント比を50%と一定にした。この条件下で作成したコンクリートのスランプは長崎県産の砕石

Table 4 Mix of concrete

Sample	Maximum size of aggregate (mm)	Slump (cm)	Water cement ratio (%)	Sand percentage (%)	Unit weight (kg/m³)			
					Water W	Cement C	Fine aggregate S	Coarse aggregate G
A/F	20	2.9	50	31.0	226.9	406.8	546.0	1,215.3
S/O	20	2.0	50	42.0	226.9	453.9	966.8	700.1
A/S	20	1.5	50	41.3	216.5	433.1	696.9	990.5
B/N	20	10.6	50	44.9	230.6	461.2	722.8	887.0

を用いたものは他の3県産の砕石を用いたものに比べて非常に大きかったことが注目される。

Fig. 4は供試体コンクリートの圧縮試験により得られた圧縮強度～材令関係を示したものである。Fig. 4によれば、いずれの砕石骨材を用いた場合も圧縮強度は材令14日でほぼ一定値に達し、その値は 300kgf/cm^2 と大きい。また、圧縮強度～材令関係を砕石の産地別に見ると、圧縮強度は材令14日までは長崎県産の場合が最も低い。材令28日では長崎県産の場合も大分県産や福岡県産の場合と大差なくなる。これは、Table 4に見るごとく長崎県産の場合はスランプが非常に大きな値であったことに起因すると思われる。

このことから、骨材として物理的・化学的には低品質であると考えられる場合でも、はっきりアルカリ骨材反応を生じる砕石でない限り、コンクリートの28日強度は普通の品質の骨材を用いたものとほぼ同等の強度を期待して良いと思われる。

最後に、本研究を行うに際して、(株)馬渡商会製品製造部長の佐口正人氏、技術試験室の職員の方々および佐賀大学農学部生産地盤工学教室専攻生の内村住春君には多大の協力を賜った。また、本研究は科学研究費総合(A)(代表者 國武昌人宮崎大学教授)を受けて行われたことを付記する。

摘 要

わが国のコンクリート用骨材は、環境保護等による採取規制と骨材資源の枯渇により、砕石に依存するケースが増えてきている。

しかし、一方で低品質の砕石を使用したためにアルカリ骨材反応によるひびわれ、等のトラブルを生じるようになってきている。アルカリ骨材反応の問題が指摘されだして以来10数年、そのメカニズムもかなり明らかになってきている。今後、その欠点を克服した低品質砕石骨材の利用方法の開発が大いに望まれる。

本論文は、北部九州における砕石利用の実態と、砕石試料の物理的・化学的特性およびこれらを骨材としたモルタルやコンクリートの物理的・力学的特性について述べたものである。

参 考 文 献

1. 社団法人 日本コンクリート工学協会 (1989). アルカリ骨材反応調査委員会報告書, 1-235.

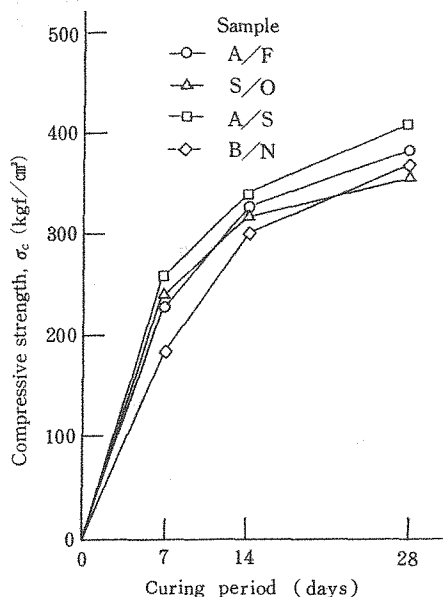


Fig. 4 Relationship between compressive strength of concrete and curing period.